บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์สามารถนำมาสรุปผลเพื่อหาสาเหตุที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงาน (Gas Volume), ความหนาตกค้างของชิ้นงาน (Residual Wall Thickness), การบิดงอ (Warpage) และการยุบตัวของชิ้นงาน (Sink Mark) จากอิทธิพลสภาวะต่างๆ ดังนี้

6.1) ปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงาน (Gas Volume)

ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงาน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1.1) อุณหภูมิพลาสติกหลอม (Melt Temperature) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงานเพิ่มขึ้น

6.1.2) ปริมาณพลาสติกหลอม (Shot size) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงานลดลง

6.1.3) เวลาหน่วง (Delay time) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรของแก๊ส แต่ไม่ควรมีค่าน้อยเกินไป เนื่องจากแก๊สจะเคลื่อนทะลุผ่านพลาสติกหลอมด้านหน้า (Flow Front) ออกมา โดยค่าที่เหมาะสมคือ 3 วินาที

6.1.4) เวลาการฉีดแก๊ส (Gas time) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 3 วินาที ส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้นและจะเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อเวลาการฉีดแก๊สมีค่ามากกว่า 3 วินาที

6.1.5) เวลาการรักษาความดัน (Gas Hold time) ความสัมพันธ์จะมีลักษณะเหมือนปัจจัยเวลาฉีดแก๊ส (Gas time) คือ เมื่อเวลารักษาแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 15 วินาที ปริมาตรของแก๊สจะมีค่าเพิ่มขึ้นและเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อเวลารักษาแรงดันมากกว่า 15 วินาที แต่ความสัมพันธ์นี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อแรงดันของแก๊สมีค่าต่ำ เมื่อแรงดันแก๊สมีค่าสูงขึ้นความสัมพันธ์ของเวลารักษาแรงดันกับปริมาตรแก๊สจะไม่เป็นดังที่กล่าวมาข้างต้น

6.1.6) แรงดันแก๊ส (Gas Pressure) จากการทดลองพบว่าแรงดันแก๊สจะมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวที่ทำให้ปริมาตรของแก๊สมีค่ามากสุด ซึ่งการทดลองนี้แรงดันแก๊สที่เหมาะสมเท่ากับ 100 บาร์

6.1.7) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สมีค่าลดลง

6.2) ความหนาตกค้างของชิ้นงาน (Residual Wall Thickness)

จากการทดลองพบว่าปัจจัยของปริมาตรพลาสติกหลอม (Shot size) มีผลต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานมากโดยเมื่อปริมาณของพลาสติกหลอมเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานเพิ่มขึ้น

โดยอิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอม (Melt Temperature), เวลาหน่วง (Delay time), เวลาการฉีดแก๊ส (Gas time), เวลารักษาแรงดัน (Gas hold time), แรงดันแก๊ส (Gas Pressure) และอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) มีผลต่อความหนาตกค้างของชิ้นงานน้อยมาก เพราะฉะนั้นเมื่อต้องการชิ้นงานที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ต้องเพิ่มความหนาตกค้างของชิ้นงานโดยปรับสภาวะของปริมาณพลาสติกหลอมให้เพิ่มขึ้นตามลำดับ

6.3) <u>ปริมาณการยุบตัวของชิ้นงาน (Sink Mark)</u>

การยุบตัวของชิ้นงาน แม้จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน เนื่องจากทำให้ความสวยงามของชิ้นงานลดลง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการยุบตัวของชิ้นงานคือ

จากปัจจัยต่างๆ ในการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 จำพวกคือ

6.3.1) ปัจจัยที่มีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว ส่งผลกระทบให้การยุบตัวของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งก็คือ อุณหภูมิพลาสติกหลอม (Melt Temperature), ปริมาณพลาสติกหลอม (Shot Size), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

6.3.2) ปัจจัยที่มีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว ส่งผลกระทบให้การยุบตัวของชิ้นงานมีค่าลดลงตาม ซึ่งก็คือ เวลาหน่วง (Delay time), เวลาการฉีดแก๊ส (Gas time), เวลารักษาแรงดัน (Gas Hold time), แรงดันแก๊ส (Gas Pressure)

ซึ่งอิทธิพลที่มีผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานมากคือ ปริมาณของพลาสติกหลอม (Shot Size), เวลาหน่วง (Delay time), เวลารักษาแรงดัน (Gas Hold time), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และบริเวณของชิ้นงานที่มีการยุบตัวมากที่สุดคือบริเวณที่มีพลาสติกหลอมมากๆ เป็นผลให้เกิดความร้อนสะสมภายในชิ้นงานมีค่าสูง ชิ้นงานยังไม่เกิดการคงรูปเมื่อนำออกจากแม่พิมพ์เป็นผลให้เกิดการยุบตัวของชิ้นงาน เพราะฉะนั้นสาเหตุหลักของการยุบตัวของชิ้นงานคือ การถ่ายเทความร้อนของชิ้นงาน โดยบริเวณที่มีความร้อนสะสมมากจะส่งผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานมากที่สุด โดยสภาวะต่างๆ ในการขึ้นรูปชิ้นงานต้องสัมพันธ์กับความร้อนที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงาน และการถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงาน

6.4) <u>การโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage)</u>

6.4.1) อุณหภูมิพลาสติกหลอม (Melt Temperature) เมื่อมีค่ามากขึ้นส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น

6.4.2) ปริมาณพลาสติกหลอม (Shot Size) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง

6.4.3) เวลาหน่วง (Delay time) เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานลดลงและเข้าสู่ค่าคงที่โดยเวลาที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้เท่ากับ 7 วินาที เพราะเมื่อใช้เวลามากไปก็ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นแต่ผลที่ได้รับไม่มีความแตกต่างมากนัก

6.4.4) เวลาฉีดแก๊ส (Gas time) ไม่ส่งผลกระทบต่อการโก่งตัวของชิ้นงานมากนัก

6.4.5) เวลารักษาแรงดัน (Gas Hold time) พบว่าจะมีค่าที่เหมาะสมที่ทำให้การโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าน้อยที่สุด โดยการโก่งตัวนั้นเกิดจากปัจจัยของความหนาของชิ้นงานที่แตกต่างกัน หรือเกิดจากการแพร่ของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอมเมื่อเวลารักษาแรงดันมากๆ

6.4.6) ความดันแก๊ส (Gas Pressure) เมื่อแก๊สมีความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานลดลง

6.4.7) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) จะไม่ส่งผลกระทบต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน

นอกจากสภาวะในการขึ้นรูปชิ้นงานต่างๆ แล้วพบว่า การออกแบบชิ้นงานที่เหมาะสมก็สามารถลดปัญหาการโก่งตัวของชิ้นงานได้ จากค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานพบว่ามีความสัมพันธ์กับการโก่งตัวของชิ้นงานคือ เมื่อความหนาตกค้างของชิ้นงานของด้านตรงข้ามมีความแตกต่างมากขึ้น ส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น โดยสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้จากการออกแบบชิ้นงานให้มีรัศมีที่เหมาะสม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

6.5) สภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด (Optimize Condition)

จากการวิจัยที่ผ่านมาสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งนำมาสรุปตามสภาวะอ้างอิงต่างๆ ดังนี้

6.5.1) อุณหภูมิพลาสติกหลอมที่เหมาะสมสำหรับการฉีดด้วยพลาสติกโพลิโพรไพลีน ที่มีดัชนีการไหล 12 มีค่าเท่ากับ 215-220 องศาเซลเซียส

6.5.2) ปริมาณพลาสติกหลอมมีผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานมาก เพราะฉะนั้นควรใช้ปริมาณพลาสติกให้น้อยที่สุดที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ซึ่งจากการวิจัยครั้งนี้ปริมาณพลาสติกหลอมที่เหมาะสมเท่ากับ 65 มิลลิเมตร

6.5.3) เวลาหน่วงมีอิทธิต่อการยุบตัวและการโก่งตัวของชิ้นงานมาก ซึ่งค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 7 วินาที

6.5.4) เพื่อให้แรงดันแก๊สภายในชิ้นงานมีค่าเท่ากับแรงดันแก๊สที่ตั้งค่าไว้ จำเป็นต้องมีเวลาฉีดแก๊สที่เหมาะสม ซึ่งเวลาฉีดแก๊สเพื่อให้ได้แรงดันแก๊สภายในชิ้นงานที่ตั้งไว้เท่ากับ 3 วินาที แต่เวลาฉีดแก๊สที่ทำให้การยุบตัวและการโก่งตัวของชิ้นงานน้อยที่สุดเท่ากับ 7 วินาที

6.5.5) เวลารักษาแรงดันมีผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานมาก เพื่อให้การยุบตัวมีค่าน้อยสุดเวลารักษาแรงดันต้องมีค่าเท่ากับ 30 วินาที

6.5.6) พบว่าแรงดันแก๊สยิ่งมาก การยุบตัวและการโก่งตัวของชิ้นงานก็ยิ่งลดลง แต่ก็จะมีผลทำให้ต้องใช้เครื่องฉีดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าแรงดันที่เหมาะสมคือ 150 บาร์ (เนื่องจากจะไปสัมพันธ์กับขนาดของเครื่องฉีดที่มีในท้องตลาด)

6.5.7) อุณหภูมิแม่พิมพ์มีผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานอย่างมาก ซึ่งจากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือระหว่าง 35-45 องศาเซลเซียส

6.6) <u>แนวทางงานวิจัยที่น่าดำเนินงานต่อ</u>

การวิจัยนี้เป็นการจำลองชิ้นงานที่มีความหนามากๆ เพื่อศึกษาถึงสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน (การยุบตัวและการโก่งตัวของชิ้นงาน) และเพื่อเป็นการต่อยอดการวิจัยครั้งนี้ จึงควรมีงานวิจัยที่น่าสนใจและดำเนินการต่อ อาทิเช่น

1.) การใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย (Simulation of Gas Assist Injection Process) เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการทดลองว่าสอดคล้องกันหรือไม่ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและแรงงานเป็นอันมาก [21], [22]

2.) ศึกษาผลของแรงดันแก๊สที่เปลี่ยนแปลงไป (Pressure Profiles) ขณะฉีดเข้าสู่พลาสติกหลอม เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ใช้แรงดันแก๊สที่มีค่าคงที่ เพื่อศึกษาถึงคุณภาพชิ้นงานที่ได้จากสภาวะที่เปลี่ยนไป

3.) การศึกษาถึงชิ้นงานที่มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาว่ามีแนวโน้มที่ไปในแนวทางเดียวกันหรือไม่

4.) การศึกษาผลที่เปลี่ยนไปจากการใช้ของเหลวฉีดแทนการใช้แก๊สฉีด [23]